

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: X2009230484

UDC _____

廈門大學

碩 士 學 位 論 文

脑电信号采集与分析系统的设计与实现

Design and Implementation of EEG Signal Acquisition and
Analysis System

潘 兰

指导教师姓名: 廖 明 宏 教 授

专 业 名 称: 软 件 工 程

论文提交日期: 2012 年 4 月

论文答辩日期: 2012 年 6 月

学位授予日期: 2012 年 6 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2012 年 4 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

2012 年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ √ ） 2.不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

脑电信号是由大量脑神经细胞在高度相干状态下的电活动在大脑皮层上的总体反应，其中包含了大量的生理和病理信息。通过对脑电信号的研究，我们可以了解神经细胞电活动与人的生理和心理状态之间的关系，在临床医学和认知科学领域具有重要的科学意义。由于脑电信号是一种极其微弱的信号，从头皮上采集到的脑电信号容易淹没在各种其他相对较强的生物电信号（如心电、肌电、眼电等等）和其他电平干扰（如电源工频干扰等等）当中，因此脑电信号采集和分析具有巨大的困难。

针对这一状况，本课题的研究目的就是研发一种高精度脑电采集分析系统，该系统包括噪声小，抗干扰能力强的采集电路和具有初步信号处理功能的分析系统。

本文通过仿真和计算设计了脑电信号采集电路，仿真和设计脑电信号采集算法，初步实现了脑电信号采集系统和脑电信号的初步分析功能，达到了预期的目标。本论文的研究内容主要包括以下几个方面：

阅读和分析脑电的相关文献，概括了国内外脑电采集设备研究现状及特点，得出了本课题研究的意义和目的,为脑电信号的采集系统的设计方案的确立打下基础。

研究了各种干扰信号对脑电信号的影响。通过仿真和计算等手段对该影响进行了量化，并找到了一些有效的抑制干扰的办法，并应用到本课题实现的采集系统当中。

完成脑电信号分析算法的设计，对脑电信号分量进行了抽取和显示。

编写了硬件驱动软件、脑电信号采样控制以及通讯程序。完成了脑电信号采集系统软件平台。

课题的研究工作达到了预期的目标和要求，本文作为课题研究工作的总结，对以后开发脑电信号采集系统乃至相关的嵌入式系统都有一定的借鉴意义。

关键词： 脑电信号；采集系统；噪声抑制；信号处理；

Abstract

The EEG (Electroencephalograph) signal is the reflection of the electric potential variation on surface of cerebral cortex when brain nerve cells transform information. It contains lots of physiology and pathology information. So researching EEG signal, we could know the relationship about electric potential of brain nerve cells and status of person's physiology and mentality, there is a large significance in the clinical medicine and cognition science. EEG signal is a kind of weak and nonstationary random signal, So it is which takes a great difficulty to acquire.

Because of this status, the intention of this thesis is to discuss how to design an EEG signal acquisition system which has a low noise, great ability of anti-interference and high degree of accuracy circle and an arithmetic which has ability to analysis the EEG signal.

According to the result of the simulation and calculation, the hardware of the acquisition system is designed, the software platform base on embedded, real time, multi-task operation system and an analysis arithmetic are research. And it conforms to the plans. The materials of the research content of the thesis are as follows:

Firstly, the author read and analyses lots of the literatures about EEG and sums up actuality and characteristic of the EEG monitor, generalizes meaning and

purpose of the research. It ground the system design.

Secondly, the author investigate the influence of interferences to EEG acquisition, quantitative the influence of interferences, find some methods to reject those interferences, and apply the methods in the system.

Thirdly, The effects of different types of clinical significance of EEG signal and, based on classification of EEG components were extracted and displayed.

Lastly, hardware driver, EEG sampling control and communications software are programmed. We completed software platform of the EEG signal acquisition system.

we conclude that the research of thesis has reached its desired goal. Being the summarize of the work, the thesis provided the reference and accumulated some experience for advanced research and products.

Key Words: EEG signal; Acquisition System; Noise rejection; Signal process

目 录

第 1 章	绪论	1
1.1	课题研究的背景和意义	1
1.2	脑电信号的研究历史及现状	5
1.3	本文的主要研究内容	7
1.4	论文章节安排	7
第 2 章	脑电信号简介	9
2.1	脑电信号获取方法	9
2.1.1	脑电电极放置位置	9
2.1.2	脑电信号测量方法	10
2.2	脑电信号的分类	12
2.3	脑电信号的节律	13
2.4	脑电信号的性质	14
2.5	本章小结	15
第 3 章	脑电信号分析方法	16
3.1	脑电信号分析方法介绍	16
3.2	小波分析简介	16
3.3	脑电节律的小波包分解	17
3.4	本章小结	20

第 4 章 脑电信号采集系统硬件设计	21
4.1 脑电信号采集系统结构划分	21
4.2 硬件系统结构	21
4.3 通道噪声干扰分析	22
4.4 保护与缓冲电路设计	24
4.4.1 缓冲器选型	25
4.4.2 差模输入阻抗仿真计算	25
4.5 前置放大与高通滤波设计	26
4.5.1 原理概述	26
4.5.2 前置放大器设计	27
4.5.3 高通滤波设计	28
4.6 信号反馈电路设计	29
4.7 低通滤波电路设计	30
4.8 主放大电路设计	31
4.9 ADC 参数设计	32
4.9.1 ADC 类型选取	32
4.9.2 通道有效分辨力计算	33
4.9.3 采样率选取	33
4.9.4 控制单元设计	34
4.10 本章小结	34
第 5 章 脑电信号采集系统软件设计	35

5.1	开发环境介绍	35
5.2	软件功能概述	45
5.3	软件流程说明	46
5.4	采样控制模块	48
5.5	信号预处理模块	48
5.6	通讯模块介绍	49
5.6.1	通讯握手规范	49
5.6.2	功能安全性要求	49
5.6.3	通信协议底层配置	50
5.7	本章小结	51
第 6 章	系统测试	52
6.1	测试方案	52
6.1.1	通道噪声	52
6.1.2	共模抑制比	52
6.1.3	差分输入阻抗	52
6.2	测试结果	53
6.2.1	通道噪声	53
6.2.2	共模抑制比	53
6.2.3	差分输入阻抗	53
6.2.4	测试结果与设计要对比	54
6.3	脑电采集结果	54

6.4 本章小结	55
第 7 章 总结与展望	56
7.1 总结	56
7.2 展望	57
参考文献.....	58
致谢.....	62

Contents

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 The background and significance of the research.....	1
1.2 EEG Research History and Present Situation.....	5
1.3 The main research contents.....	7
1.4 Thesis chapters arrangements.....	7
Chapter 2 EEG Introduction.....	9
2.1 EEG acquisition method.....	9
2.1.1 placement of EEG electrode.....	9
2.1.2 methods of EEG measurement.....	10
2.2 Classification of EEG signals.....	12
2.3 Rhythm of EEG.....	13
2.4 The nature of EEG.....	14
2.5 Chapter Summary.....	15
Chapter 3 Method for EEG analysis.....	16
3.1 EEG analysis methods Introduction.....	16
3.2 Introduction to Wavelet Analysis.....	16
3.3 Wavelet packet decomposition of the EEG Rhythm.....	17
3.4 Chapter Summary.....	20
Chapter 4 Hardware design of EEG acquisition system	21
4.1 Structure of EEG acquisition system.....	21

4.2 The hardware system architecture.....	21
4.3 Channel noise analysis.....	22
4.4 Protection and buffer circuit design.....	24
4.5 Preamplifier and high-pass filter design.....	26
4.5.1 Principles outlined.....	26
4.5.2 Preamplifier design.....	27
4.5.3 High-pass filter design.....	28
4.6 Signal feedback circuit design.....	29
4.7 Low-pass filter circuit design.....	30
4.8 The main amplifier circuit design.....	31
4.9 ADC parameter design.....	32
4.9.1 Type of ADC selection.....	32
4.9.2 Channel effective resolution calculation.....	33
4.9.3 Sampling rate selection.....	33
4.9.4 Design of control unit.....	34
4.10 Chapter Summary.....	34
Chapter 5 EEG acquisition system software design.....	35
5.1 Development Environment Introduction.....	35
5.2 Overview of the software features.....	45
5.3 Software process description.....	46
5.4 Pre-processing module.....	48
5.5 Pre-processing module.....	48

5.6 Formulation of communication protocols	49
5.6.1 Communication handshake specification	49
5.6.2 Functional security requirements	49
5.6.3 Communication protocol configuration	50
5.7 Chapter Summary	51
Chapter 6 System testing	52
6.1 Test program	52
6.1.1 Channel noise	52
6.1.2 Common mode rejection ratio	52
6.1.3 Differential input impedance	52
6.2 Test results	53
6.2.1 Channel noise	53
6.2.2 Common mode rejection ratio	53
6.2.3 Differential input impedance	53
6.2.4 Compared of test results and design requirements	54
6.3 EEG acquisition results	54
6.4 Chapter Summary	55
Chapter 7 Summary and Outlook	56
7.1 Summary	56
7.2 Outlook	57
References	58
Acknowledgements	62

第1章 绪论

1.1 课题研究的背景和意义

人脑是人体中最复杂，最精密的器官，也是人类对自身了解最少，最神秘的一部分。它由上亿个神经细胞组成，是一个结构和功能都十分复杂的系统，它不但支配人的思维和行为，而且也是控制情绪和植物神经功能的最高中枢。

大脑又称端脑，是脊椎动物脑的高级的主要部分，由左右两半球组成及连接两个半球的中间部分，即第三脑室前端的终板组成。它是控制运动、产生感觉及实现高级脑功能的高级神经中枢。大脑是人的身体中高级神经活动中枢，控制着人体这个复杂而精密的系统，对人脑神经机制及高级功能进行多层次、多学科的综合研究已经成为当代脑科学发展的热点方向之一。

人的思维、语言、感知和运动能力都是通过大脑对人体器官和相应肌肉群的有效控制来实现的。人的大脑由大约 10^{11} 个互相连接的单元体组成，其中每个单元体有大约 104 个连接，这些单元体称做神经元。在生物学中，神经元是由三个部分组成：树突、轴突和细胞体。神经元的树突和其他神经元的轴突相连，连接部分称为突触。神经元之间的信号传递就是通过这些突触进行的。生物电信号的本质是离子跨膜流动而不是电子的流动。每有一个足够大的刺激去极化神经元细胞时，可以记录到一个持续 1-2ERP 的沿轴突波形传导的峰形电位-动作电位。动作电位上升到顶端后开始下降，产生一些小的超极化波动后恢复到静息电位（静息电位（Resting Potential, RP）是指细

胞未受刺激时，存在于细胞膜内外两侧的外正内负的电位差)。人的神经细胞的静息电位为 -70mV （就是膜内比膜外电位低 70mV ）。这个变化过程的电位是局部电位。局部电位是神经系统分析整合信息的基础。细胞膜的电特性决定着神经元的电活动。当神经元受到外界刺激时，神经细胞膜内外两侧的电位差被降低从而提高了膜的兴奋性，当兴奋性超过特定阈值时就会产生神经冲动或兴奋，神经冲动或兴奋通过突触传递给下一个神经元。由上述可知，膜电位是神经组织实现正常功能的基本条件，是兴奋产生的本质。膜电位使神经元能够接收刺激信号并将这一刺激信号沿神经束传递下去。在神经元内部，树突的外形就像树根一样发散，由很多细小的神经纤维丝组成，可以接收电信号，然后传递给细胞体。如果说树突是树根的话，那么细胞体就是树桩，对树突传递进来的信号进行处理，如果信号超过特定的阈值，细胞体就把信号继续传递给轴突。轴突的形状像树干，是一根细长的纤维体，它把细胞体传递过来的信号通过突触发送给相邻神经元的树突。突触的连接强度和神经元的排列方式都影响着神经组织的输出结果。而正是这种错综复杂的神经组织结构和复杂的信息处理机制，才使得人脑拥有高度的智慧。

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库